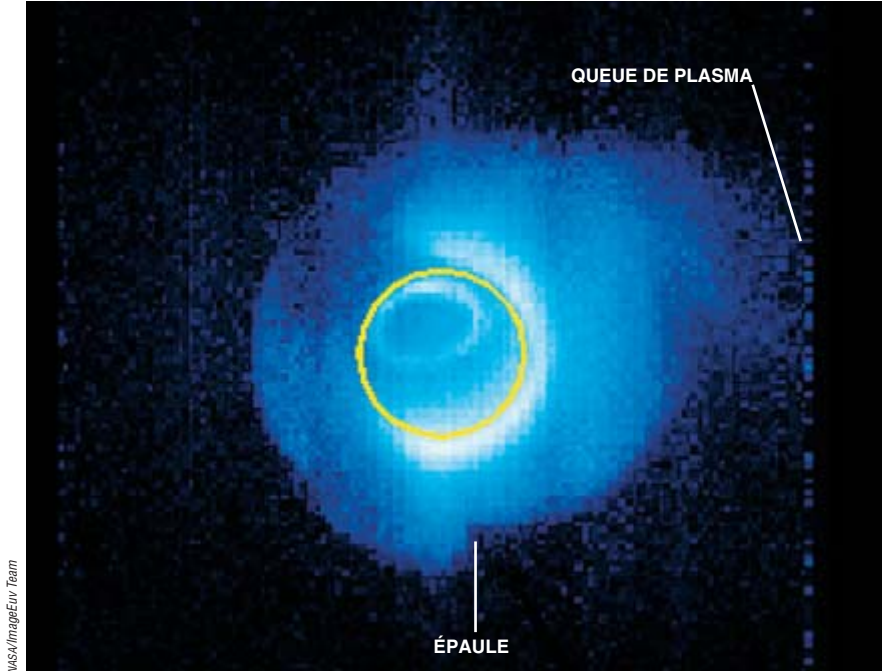




4. LA PLASMASPHÈRE apparaît comme un nuage bleu clair qui est constitué d'ions (au centre du cercle jaune) et entoure la Terre, sur cette image obtenue grâce au satellite IMAGE pendant un orage géomagnétique d'intensité modérée, le 24 mai 2000. Les résultats ont confirmé l'existence d'une queue de plasma, et ont révélé une structure inattendue que l'on a surnommée l'«épaule».

plasmas, par exemple sur les champs et sur les courants qui commandent leurs mouvements. La prochaine étape de l'observation de la météorologie de l'espace fera intervenir plusieurs satellites en même temps, qui imiteront les avions chasseurs d'ouragans : ils se rendront dans les zones où ont lieu les orages magnétiques.

Des patrouilles de satellites

L'Agence spatiale européenne conduit déjà une nouvelle mission, nommée *Cluster II*, qui a été lancée pendant l'été 2000 (la mission antérieure, *Cluster I*, avait été détruite par l'explosion de la fusée *Ariane* juste après son lancement, en 1996). *Cluster II* est constituée de quatre sondes identiques et rapprochées, destinées à explorer les plasmas turbulents dans la magnétosphère et dans le vent solaire avoisinant. La NASA projette également le lancement d'une mission de ce type en 2006. Elle étudiera la reconnexion, l'accélération des particules chargées, et la turbulence de la magnétopause du côté exposé au Soleil et en des points précis de la queue magnétique, où prennent naissance les sous-orages.

Les agences spatiales envisagent des missions encore plus ambitieuses, qui utiliseront des constellations de satellites : des dizaines de minuscules engins observeront de larges régions de l'espace, de même que des réseaux de satellites météorologiques surveillent

aujourd'hui les conditions atmosphériques sur la Terre. Les premières constellations auront pour mission de contrôler la magnétosphère interne et la magnétopause du côté exposé au Soleil. Chaque appareil, de la taille d'un ballon, enregistrera les caractéristiques des plasmas et des champs magnétiques.

La magnétosphère terrestre constitue un bouclier protecteur, mais imparfait. Ses champs magnétiques intenses protègent les hommes des rayonnements dangereux émis par le Soleil. Toutefois, ils ne suffisent pas à écarter les ondes de choc les plus puissantes issues du Soleil. Comme la zone des cyclones tropicaux, la magnétosphère est sujette à des orages soudains. Pour cette raison, les guetteurs d'orages, tels le satellite IMAGE et les sondes de *Cluster*, sont indispensables pour surveiller les mouvements des particules chargées, traquer les signes avant-coureurs des orages et les prévoir le plus tôt possible.

James BURCH, vice-président de la Division science et ingénierie spatiales de l'Institut de recherche du Sud-Ouest, à San Antonio, au Texas, participe à la mission IMAGE.

S. SUESS et B. TSURUTANI, *From the Sun : auroras, magnetic storms, solar flares, cosmic rays*, in *American Geophysical Union*, 1998.

Sten ODENWALD, *The 23rd cycle : learning to live with a stormy star*, Columbia University Press, 2001.

Éruptions solaires et météorologie de l'espace

PIERRE LANTOS • TAHAR AMARI

Plus les taches solaires sont abondantes dans une région de la surface du Soleil, plus les risques d'une éruption augmentent. La modélisation du champ magnétique solaire à proximité des taches devrait améliorer la fiabilité de la prévision de ces éruptions, qui ont parfois des conséquences néfastes.

Le Soleil, source de vie, libère une énergie considérable dont les effets seraient néfastes pour les organismes vivants s'ils n'étaient atténués au sol par l'atmosphère et par le champ magnétique terrestre. Toutefois, certaines «colères» sont parfois si intenses qu'elles ne sont pas masquées par l'atmosphère.

La surveillance de l'activité solaire n'est pas récente, puisque, dès les années 1920, on émettait, de la Tour Eiffel, des messages d'alerte annonçant les éruptions solaires. Parce que ces éruptions s'accompagnent de perturbations notables du champ magnétique solaire et de l'émission de particules de haute énergie, elles ont des conséquences diverses : elles perturbent la propagation des ondes utilisées dans les télécommunications, elles risquent d'être une source d'erreurs dans le calcul des orbites des satellites, elles représentent un risque, généralement faible, d'irradiation pour les personnes embarquées à bord des avions, ou pour les astronautes, elles perturbent les dispositifs électroniques et, enfin, elles créent des courants induits dans les réseaux de distribution de l'électricité ou les câbles téléphoniques. Rappelons qu'en mars 1989, un orage géomagnétique a été à l'origine de la panne qui a privé le Québec d'électricité pendant plusieurs heures. Souvent mentionné, cet incident reste toutefois un cas unique.

En dehors de l'atmosphère protectrice, aux altitudes où volent les avions et, *a fortiori*, à l'altitude de la station spatiale et des satellites, ces effets ne sont plus négligeables, notamment lorsque le Soleil produit une grande éruption. Si *Concorde* avait volé au-dessus de l'Atlantique durant l'éruption solaire du 23 février 1956, passagers et équipage auraient reçu en une heure la dose d'irradiation autorisée annuellement pour le personnel navigant. Les doses calculées pour le maximum de cette éruption atteignent 3 000 fois celles du rayonnement cosmique habituel. Les vols subsoniques sont-ils mieux protégés, l'atmosphère jouant son rôle d'écran ? Non, parce que le bouclier n'est pas totalement étanche, et que les durées des vols subsoniques sont notablement supérieures à celles d'un *Concorde*. Des procédures spécifiques de sauvegarde

sont prévues sur le *Concorde* en cas d'éruption solaire : des dispositifs enregistrent en permanence la dose de rayonnements qui atteint l'avion. En cas d'éruption solaire, si le débit de dose admis était dépassé, le pilote, immédiatement averti, ferait redescendre l'avion plus profondément dans l'atmosphère, pour augmenter l'épaisseur de l'écran protecteur.

Plus grave encore, si des astronautes avaient été dans l'espace lors de l'éruption du 4 août 1972, qui a eu lieu entre les vols *Apollo 16* et *Apollo 17* vers la Lune, les doses reçues auraient été semblables à celles de l'accident de l'usine de retraitement de l'uranium de Tokaimura, qui eut lieu le 30 septembre 1999 et a fait deux morts et un blessé grave.

Ces éruptions exceptionnelles ont été les plus intenses des 50 dernières années, dans des domaines d'énergie particuliers. Elles illustrent cependant l'intérêt d'une surveillance et d'une prévision des effets de l'activité solaire sur l'environnement de la Terre, car l'activité solaire a des effets de plus en plus notables sur des instruments où l'électronique prédomine. En raison des effets économiques néfastes que peuvent avoir ces éruptions, les astrophysiciens surveillent étroitement l'activité solaire et cherchent à en prévoir les effets sur l'environnement de la Terre. Ils développent la météorologie de l'espace, fondée sur de multiples moyens d'observation et sur une utilisation accrue des capacités de calcul.

Rayonnements et particules

Les éruptions sont très nombreuses puisque l'on en compte une centaine par mois durant la phase de l'activité la plus intense du cycle solaire. Même dans la phase d'activité minimale, on en dénombre quelques dizaines. Cependant, la plupart sont trop faibles pour avoir des effets notables sur la Terre. En moyenne, il n'y a qu'une éruption par mois, durant la phase d'activité maximale, pour déclencher de tels effets. L'activité magnétique solaire, cause des éruptions et des éjections coronales, croît et décroît sur une période de 11 ans, le dernier maximum ayant eu lieu en avril 2000. La couronne est la région la plus externe du Soleil, constituée